

## تأثیر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن و خصوصیات زراعی بذر کلزا

حمیدرضا گازر\* و امیرحسین شیرانی\*\*

\*نگارنده مسئول، نشانی: کرج، بلوار شهید فهمیده، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص.پ. ۸۴۵-۳۱۸۵، تلفن: ۰۲۷۰۵۳۲۰،

پیام‌نگار: hgazor@yahoo.com

\*\*به ترتیب استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

### چکیده

به منظور کاهش زمان خشک شدن و ارتقای شاخص‌های کیفی بذور خشک شده از روش‌های مختلف استفاده می‌شود که هوا دهی مناسب با سیال‌سازی محصول به هنگام خشک شدن از آن جمله است. در این تحقیق با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی، بذر کلزا با ۲۰ درصد رطوبت بر پایه وزن خشک، در محدوده دمایی ۳۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس با بازه‌های دمایی ۱۰ درجه سلسیوس، در سه حالت بستر ثابت، شروع سیال‌سازی و بستر سیال خشک شدند. با در نظر گرفتن تأثیر تغییرات دما و حالت بستر بر سینتیک خشک شدن دانه‌ها، صفاتی از قبیل درصد جوانه زنی نهایی (قوه نامیه)، درصد سبز شدن، شاخص سطح برگ گیاهچه، و وزن خشک گیاهچه در بذر تحت تیمارهای آزمایشی به همراه تیمار شاهد (خشک و آماده نشده) ارزیابی شد. نتایج به دست آمده مؤید تأثیرگذاری معنی‌دار دما و سیال‌سازی بستر کلزا در حین فرآیند خشک کردن است. علاوه بر آن، تهویه مناسب در فرآیند خشک کردن بذر کلزا با قرار دادن محصول در آستانه سیال‌سازی و بعد از آن، در تسریع فرآیند خشک‌کردن محصول تأثیرگذار است. نتایج نشان داد که تغییرات بستر نیز در دماهای متفاوت روی کاهش زمان خشک شدن مؤثر است و سیال‌سازی زمان خشک شدن بذر را بیش از ۲۳ درصد نسبت به حالت بستر ثابت کاهش می‌دهد. تغییر بستر از آستانه سیال‌سازی به سیال، تنها حدود ۸ درصد زمان خشک شدن محصول را بالا می‌برد. از این رو می‌توان گفت که وقتی کاربرد دماهای بالا برای کیفیت محصول محدود است، با قرار دادن بذر در آستانه سیال‌سازی می‌توان آن را با حداقل دما و صرف انرژی کمتر در زمانی کوتاه خشک کرد. بررسی اثر سیال‌سازی بذر در فرآیند خشک کردن بر جوانه زنی و سبز شدن بذر کلزا نشان می‌دهد که در محدوده دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس می‌توان بذر با رطوبت بالا را با روش‌های آستانه سیال‌سازی خشک و قوه نامیه و توان رویش بذر کلزا را در حد استاندارد حفظ کرد.

### واژه‌های کلیدی

بذر، بستر سیال، جوانه‌زنی، خشک کردن، کلزا

### مقدمه

قرار گرفته است. به گزارش روابط عمومی وزارت جهاد کشاورزی در شش ماهه نخست سال ۸۷، حدود ۴۴۲ هزار و ۳۱۷ تن بذر تولیدی کشور توسط موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال گواهی شد که از ۳۵۰۰ هکتار سطح زیرکشت بذر کلزا، ۲۷۰۰ تن بذر تولیدی گواهی شد (Anon, 2006). در نواحی ایی که شرایط اقلیمی اجازه نمی‌دهد که بذر به‌طور طبیعی خشک شود، خشک کردن مصنوعی آن از عملیات ضروری پس از برداشت محسوب

کلزا یکی از دانه‌های مهم روغنی در جهان است که اخیراً در ایران هم مورد توجه قرار گرفته است. افزایش قابل توجه سطح زیر کشت این محصول در سال‌های اخیر در کشور، نیاز روز افزون به تأمین نهاده‌های تولید از جمله بذر را بیش از پیش محسوس می‌نماید. تأمین بذر کلزا در مناطق شمالی کشور از فعالیت‌های قابل توسعه‌ای است که در برنامه‌های بلندمدت تولید دانه‌های روغنی مد نظر

ساعت خشک شده بودند، فرسودگی بذر را عامل کاهش قوه نامیه دانستند (McEwen & O'Callaghan, 1955).

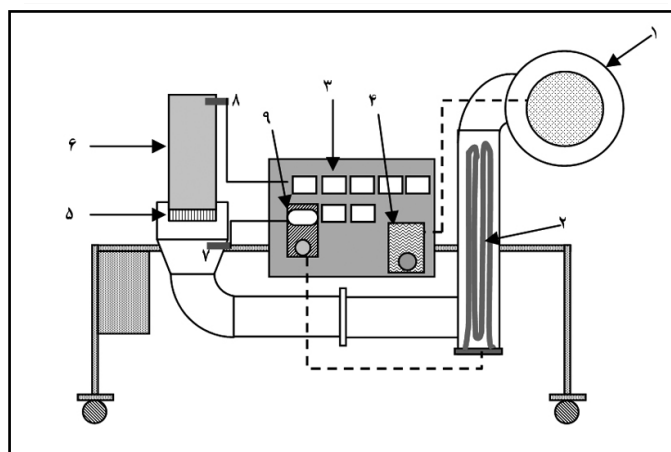
خشک کن‌های بستر سیال برای خشک کردن برخی از محصولات دانه‌ای کشاورزی و غذایی مناسباند و دانه‌ها در اثر فشار باد سیال گرم‌کننده که بر نیروی وزن آنها غلبه می‌کند بالاتر از بستر خود قرار می‌گیرند و با آهنگی سریع و یکنواخت و در زمانی کوتاه رطوبت خود را از دست می‌دهند و خشک می‌شوند. در خشک کردن محصولات غذایی به صورت بستر سیال غالباً از صفحات مشبک<sup>۱</sup> فلزی استفاده می‌شود. هوای گرم از قسمت زیرین توده محصول وارد و پس از شناور ساختن و بر هم زدن آن به همراه رطوبت از قسمت فوقانی خارج می‌شود (Canovas & Mercado, 1996; Board, 2000; Fellows, 1990). در مورد کاربرد این نوع خشک‌کن‌ها برای خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی در محدوده‌های دمایی مختلف در دنیا تحقیقات زیادی انجام شده است (Srinivasakannan, 2008; Diamattia *et al.*, 1996, ) (Bauman *et al.*, 2005; Amiri Chayjan *et al.*, 2004). در تحقیق دیگر، مقاومت به عبور هوا و دماهای مطلوب برای خشک کردن دو نوع دانه روغنی یکی آفتابگردان و دیگری کلزا بررسی شد. نتایج نشان داد که دماهای مناسب برای خشک کردن آفتابگردان با رطوبت اولیه ۱۲ تا ۱۶ درصد، در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درجه سلسیوس قرار دارد و نیز این که در مدت زمان محدود هوای دارای دمای ۶۰ درجه سلسیوس و عبور آن از بستر روی قوه نامیه کلزا اثر منفی ندارد اما اگر از این دما در یک محیط بسته استفاده شود، از قوه نامیه آفتابگردان و کلزا به شدت کاسته می‌شود (Sutherland & Ghaly, 1982). برای خشک کردن کلزا برای مصارف مختلف باید از دماهای متفاوت استفاده کرد، مثلاً برای خشک کردن بذر کلزا باید از دماهای حدود ۴۵ درجه سلسیوس و کمتر استفاده کرد. برای روغن‌کشی از دانه کلزا افزایش دمای خشک‌کن تا ۸۲

می‌شود. شرایط خشک کردن بذر از جمله رطوبت اولیه بذر، رطوبت دانه در انتهای فرآیند، میزان دما و طول مدت خشک کردن برای حفظ کیفیت بذر اهمیت دارند (McDonald & Copeland, 1997). طی تحقیقی، تأثیر مدت ماندگاری بذر ترب با رطوبت‌های مختلف در دمای ۷۶ درجه سلسیوس آزمایش و نتیجه‌گیری شد که نگهداری بیشتر از ۳۶ ساعت بذر دارای رطوبت حدود ۹/۴ درصد بر پایه خشک در دمای ذکر شده تأثیر قابل توجهی بر کاهش قوه جوانه‌زنی و ویگور آن دارد. کاهش قوه جوانه‌زنی در بذرهای دارای رطوبت پایین‌تر کمتر است (Chun *et al.*, 2003). در تحقیقی دیگر مشخص شد که بذر غلات دارای رطوبت ۱۳ درصد بر پایه تر که به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، نیم ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و ۱۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گیرند و خشک شوند، دچار کاهش معنی‌دار قوه نامیه می‌شوند (Kreyger, 1960). طی تحقیقی تأثیر زمان برداشت، دما، و مدت زمان خشک کردن بر قوه نامیه، بنیه و برخی ویژگی‌های مرتبط با بذر در دو رقم کلزا بررسی و نتیجه‌گیری شد که در محدوده دمایی ۴۵ تا ۶۵ درجه سلسیوس واکنش رقم‌های خشک شده با یکدیگر متفاوت است (Hamidi, 2004). غالی و سواترلند با استفاده از خشک‌کن بستر سیال دانه‌های کلزا با رطوبت‌های اولیه ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد را در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک کردند و نتیجه گرفتند که دمای ۶۰ درجه سلسیوس باعث کاهش قوه نامیه بذر نمی‌شود (Ghaly & Sutherland 1984). لوف در تحقیق خود اعلام کرد خشک کردن کلزا در دمای بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس می‌تواند با کاهش قوه نامیه بذر همراه باشد. او اضافه می‌کند هرچه درصد رطوبت بذر بیشتر باشد تأثیر دما بر قوه نامیه افزایش می‌یابد (Loof, 1972). مک نایت و مویسی در خصوص بذرهای دارای رطوبت ۱۴/۶ درصد که با دمای ۵۴ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴

### مواد و روش‌ها

برای خشک کردن دانه‌ها از یک خشک‌کن بسترسیال نوع وعده‌ای<sup>۱</sup> (شکل ۱) ساخته شده در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی استفاده شد. برای هر آزمایش در مرحله اول با افزودن آب مقطر به حدود ۱ کیلوگرم بذر کلزا رقم *Option 500*، عمل یکنواخت سازی رطوبت (آماده سازی) بذرهای برداشت شده تا محدوده ۲۰ درصد بر پایه خشک در دمای ۴ درجه سلسیوس انجام شد. سپس با استفاده از متغیرهای مستقل تغییرات دما در چهار سطح دمایی (۳۰، ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سلسیوس)، تغییرات بستر محصول در سه سطح بستر ثابت، آستانه سیال‌سازی، و بستر سیال، فرآیند خشک شدن بذر کلزا تحت تیمارهای مختلف تا سطوح ۶ تا ۸ درصد بر پایه خشک در ضخامت ۵ سانتی‌متر ادامه یافت. سپس خصوصیات کیفی بذرهای خشک شده شامل متغیرهایی که در زیر توضیح داده می‌شوند، ارزیابی شد (Sutherland & Ghaly, 1982; Anon, 2001). متغیرهای مورد بررسی در فرآیند خشک شدن عبارت بودند از: اندازه‌گیری مدت زمان رسیدن رطوبت بذر به ۶ تا ۸ درصد بر پایه خشک و متوسط آهنگ خشک شدن بذر کلزا برای تیمارهای مختلف که با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی و در سه تکرار محاسبه شد (Bassiri, 1995). به‌منظور ثبت روند تغییرات رطوبت در فرآیند خشک شدن دانه‌ها از یک ترازوی دیجیتال (توزین الکترونیک-ایران) با دقت ۱ گرم و از روش وزنی در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه‌ای استفاده شد. به‌منظور تعیین رطوبت نهایی نیز به مدت ۳ ساعت از دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس در آون استفاده گردید (Ward et al., 1985; Pagano et al., 1999).

درجه سلسیوس نیز مجاز است (Anon, 2001). حسین‌خواه و فامیل مؤمن در تحقیق خود تأثیر رطوبت اولیه دانه کلزا را در محدوده ۱۲ تا ۲۰ درصد بر پایه تر و دماهای خشک‌کن در محدوده ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس بر خشک کردن بذر کلزا آزمایش کردند و با توجه به درصد جوانه‌زنی بذر در تیمارهای خشک شده نتیجه گرفتند که رطوبت اولیه ۱۲ درصد دانه مناسب‌ترین رطوبت برای برداشت دانه‌ها به‌منظور استفاده بذری و روغن‌کشی بوده و دمای ۴۰ درجه سلسیوس مناسب‌ترین دما برای خشک کردن بذر کلزا است (Hosienkhah & Famil Momen, 2004). طی تحقیقی، تأثیر کاربرد خشک‌کن بستر سیال بر خواص کیفی روغن استحصالی از کلزا بررسی و نتیجه‌گیری شد که سیال‌سازی محصول در محدوده دمایی ۳۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس علاوه بر کاهش معنی‌دار زمان خشک شدن، بر برخی خصوصیات کیفی روغن نظیر رنگ و اسیدیته تأثیر بهینه دارد. ضمن اینکه سیال‌سازی در محدوده دمایی ذکر شده تأثیر معنی‌داری بر مقدار روغن استحصالی و عدد پراکسید کلزا ندارد (Gazor & Hosseinkhah, 2009). با توجه به نیاز مبرم خشک کردن بذر کلزا در مناطق شمالی کشور در سال‌های آینده، در این تحقیق تأثیر سیال‌سازی و هوادهی بهتر به بذر کلزا در محدوده ۳۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس بر سینتیک خشک شدن بذر کلزا و مدت زمان لازم برای خشک کردن بذر و خصوصیات زراعی بذر خشک شده بررسی و ارزیابی شد. اهداف اصلی انجام این تحقیق بررسی تأثیر تغییرات بستر دانه در دماهای مختلف بر فرآیند خشک کردن بذر و خصوصیات جوانه‌زنی، سبز شدن، استقرار و رشد بعدی گیاهچه در مزرعه است.



شکل ۱- طرحواره خشک کن بستر سیال مورد استفاده در تحقیق

در شکل بالا: (۱) دمنده، (۲) گرم کننده برقی، (۳) دماسنج‌ها، (۴) تنظیم کننده دور موتور دمنده، (۵) صفحه توزیع کننده جریان هوا، (۶) محفظه خشک کن، (۷) سنسور دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن، (۸) حسگر دمای هوای خارج شده از محفظه خشک کن، (۹) تنظیم کننده دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن

شرایط قابل کنترل در آزمایشگاه آزمون گردیدند. درصد جوانه زنی نهایی (قوة نامیه) بذرها پس از خشک شدن با آزمون جوانه زنی استاندارد (Standard germination test) مطابق با معیارهای انجمن بین المللی آزمون بذر (ایستا) تعیین گردید (Anon, 2008). برای ارزیابی پارامترهای زراعی نیز، بذور تیمار شده، مطابق آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط مزرعه ارزیابی شدند و صفات درصد سبز شدن، درصد استقرار، سرعت سبز شدن، وزن خشک گیاهچه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص اندازه گیری شد (Attari et al., 2005). هرکرت آزمایشی شامل چهار خط کشت با فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر و طول ۲۰۰ سانتی متر بوده؛ طول بلوکها ۱۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

بذرها با تعداد مشخص در هر خط کشت شدند و فاصله بین بذرها در روی خط ۵ سانتی متر و عمق کاشت بذرها ۳ سانتی متر در نظر گرفته شد. پس از کشت و

برای تعیین تغییرات آهنگ خشک شدن در فواصل زمانی ذکر شده و در طول مدت خشک شدن از تغییرات وزن رطوبت خارج شده از ماده و رابطه ۱ استفاده شد. سرانجام برای به دست آوردن متوسط آهنگ خشک شدن، از مجموع داده‌ها در فرآیند خشک کردن میانگین گیری شد (Mazza, 1984; Falade & Abbo, 2007).

$$DR = \frac{W_1 - W_2}{W_3 \times t} \quad (1)$$

که در آن،

DR = آهنگ خشک شدن (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت)؛  $W_2$  = وزن نمونه آزمایش در هر مرحله (کیلوگرم)؛  $W_1$  = وزن نمونه آزمایش در مرحله قبل (کیلوگرم)؛  $W_3$  = وزن کاملاً خشک شده نمونه آزمایشی (کیلوگرم)؛ و  $t$  = مدت زمان سپری شده تا مرحله مورد نظر (ساعت) است.

برای آزمون‌های زراعی، در مرحله اول بذرهای خشک شده حاصل از تیمارهای آزمایشی در

تعیین شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به زمان و متوسط آهنگ خشک شدن دانه‌های کلزا در تیمارهای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آبیاری به صورت نشتی، بذرهای جوانه زده هر روز شمرده می‌شد. این عمل تا زمان ثابت شدن تعداد بذرهای سبز شده ادامه داشت. پس از سبز شدن بذرها، نمونه برداری تخریبی از مزرعه طی ۶ هفته متوالی انجام شد و در هر مرحله نمونه‌برداری، وزن خشک گیاهچه و سطح برگ آن به دست و با استفاده از این دو پارامتر، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص

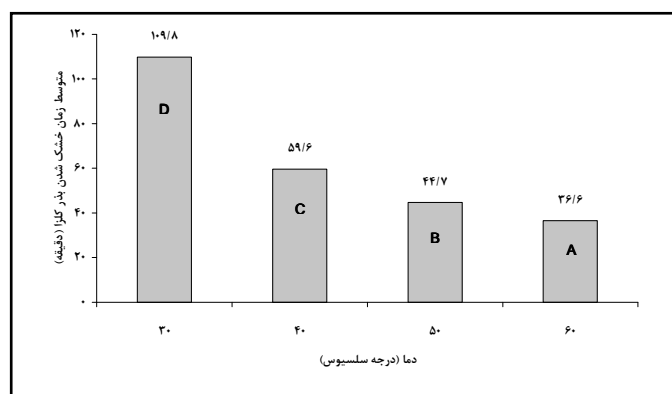
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های فرآیند خشک شدن بذر کلزا

منابع تغییرات (SOV)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	متوسط آهنگ خشک شدن
دما	۳	۹۷۰۴/۷۷**	۰/۰۲۰**
وضعیت بستر	۲	۹۱۸/۳۶**	۰/۰۱۰**
دما × وضعیت بستر	۶	۲۰/۲۱ <sup>n.s</sup>	۰/۰۰۰۳ <sup>n.s</sup>
خطا	۲۴	۲۲/۷۵	۰/۰۰۰۲
کل	۳۵		
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۶۱	۶/۹۹

\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد. <sup>n.s</sup> نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

کلزا معنی‌دار نیست. در تمام تغییرات بستر، نتیجه‌گیری شده که افزایش عامل دما به دلیل بالا رفتن ظرفیت هوا برای جذب رطوبت و نیز افزایش انرژی فعال‌سازی برای دفع رطوبت از ماده، موجب تبادل سریع رطوبت و کاهش معنی‌دار زمان خشک شدن می‌شود (شکل ۲).

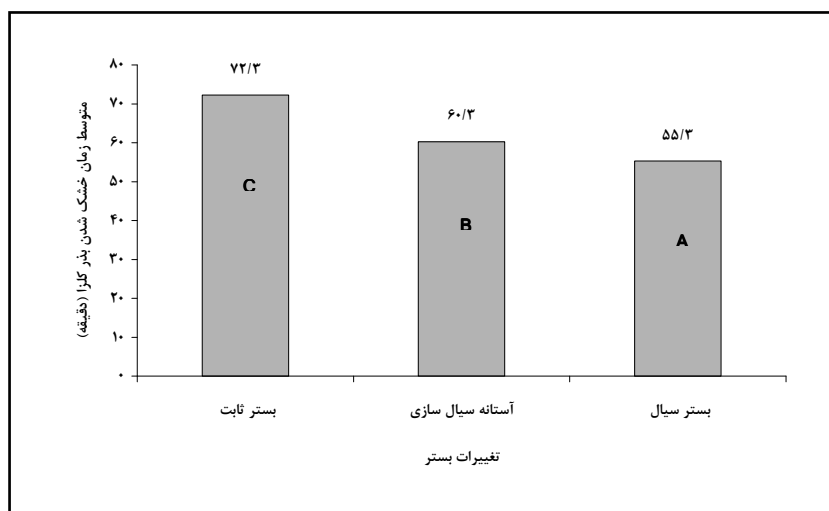
از جدول ۱ نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات دما و وضعیت بستر محصول در حین فرآیند خشک کردن تأثیر بسیار معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر فرآیند خشک کردن دانه کلزا دارد. همچنین در شرایط آزمایش، اثر متقابل تغییرات دما و وضعیت بستر محصول بر آهنگ و زمان خشک شدن



شکل ۲- مقایسه تأثیر دما بر زمان خشک شدن کلزا

بر اساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف مختلف اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند

با سیال‌سازی بستر و افزایش سرعت جریان باد در بین دانه‌ها شدت تهویه در بستر افزایش و سرعت خشک شدن دانه‌ها بالا رفت. تأثیر تغییرات عامل بستر نیز در تمامی دماها بر کاهش زمان خشک شدن مؤثر بود. سیال‌سازی بستر زمان خشک شدن بذر را به‌طور معنی‌دار تا ۲۳/۵ درصد نسبت به حالت بستر ثابت کاهش می‌دهد. تغییر بستر از ثابت به آستانه سیال‌سازی نیز موجب حدود ۱۷ درصد افزایش زمان خشک شدن محصول شده است (شکل ۳).



شکل ۳-مقایسه تأثیر تغییرات وضعیت بستر بر زمان خشک شدن کلزا بر اساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف مختلف اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند

سیال‌سازی محصول در حین فرآیند خشک کردن نسبت به حالت بستر سیال در زمان خشک شدن کلزا، بدون تأثیر معنی‌دار است و زمان خشک شدن را اغلب کمتر از ۱۰ درصد افزایش می‌دهد. بدین معنی که در آستانه سیال‌سازی، تهویه مناسب دانه‌ها دارای تأثیری مشابه و نزدیک به حالت بستر سیال است زیرا در آن شرایط مقاومت بستر دانه در مقابل فشار جریان هوا تقریباً شکسته شده است. همین نتایج در تحقیق امیری چایجان و همکاران در مورد دانه‌های شلتوک و ارزن نیز دیده می‌شود (Amiri et al., 2004).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) ملاحظه می‌شود که تأثیر تغییرات دما و بستر محصول بر زمان خشک شدن کلزا معنی‌دار است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت افزایش دما موجب کاهش زمان خشک شدن کلزا شد که این روند در حالت‌های آستانه سیال‌سازی و بسترسیال بسیار بارز بوده و در شرایط بسترهای ذکر شده، افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سلسیوس زمان خشک شدن را بیش از ۶۶ درصد کاهش داد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر بستر از ثابت به سیال می‌تواند تا ۴۱ درصد از زمان خشک شدن را نیز بکاهد. در برخی موارد، آستانه

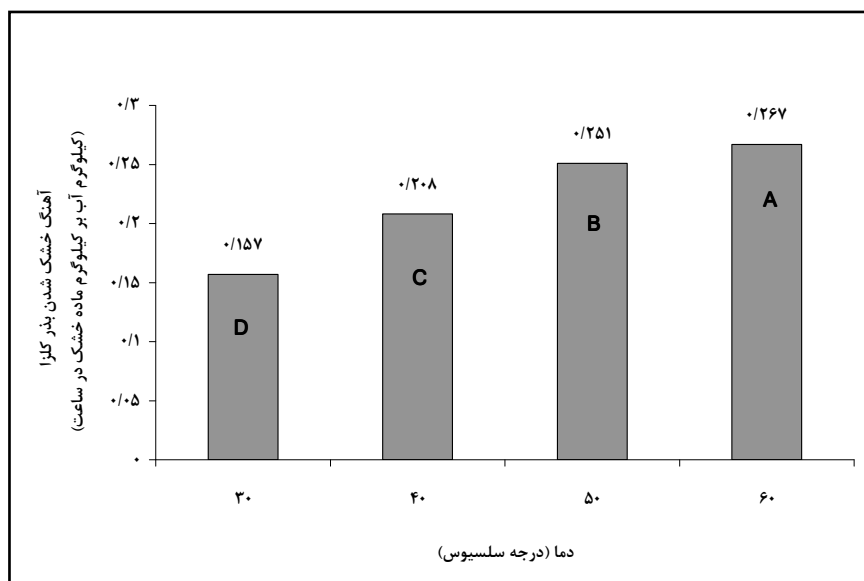
تأثیر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن...

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن کلزا (دقیقه)

دما (درجه سلسیوس)				وضعیت بستر
۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	
۴۹/۷ <sup>cd</sup> ± ۴/۳	۵۴/۳ <sup>de</sup> ± ۳/۱	۶۶/۷ <sup>f</sup> ± ۵/۶	۱۱۸/۷ <sup>h</sup> ± ۵/۶	بستر ثابت
۳۰/۷ <sup>a</sup> ± ۳/۱	۴۲/۰ <sup>bc</sup> ± ۲/۲	۶۰/۰ <sup>ef</sup> ± ۴/۱	۱۰۸/۳ <sup>g</sup> ± ۴/۲	آستانه سیال‌سازی
۲۹/۳ <sup>a</sup> ± ۲/۲	۳۷/۷ <sup>ab</sup> ± ۴/۷	۵۱/۳ <sup>d</sup> ± ۲/۵	۱۰۲/۳ <sup>g</sup> ± ۸/۷	بستر سیال

میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

مشابه با نتایج به‌دست آمده برای تحلیل زمان خشک شدن کلزا، در هر سه حالت بستر ثابت، آستانه سیال‌سازی و بستر سیال، بالارفتن دما موجب افزایش جنبش مولکولی رطوبت موجود در دانه‌ها می‌شود و خروج آن را از لایه‌های سطحی دانه‌ها تسریع می‌کند. این کار باعث تغییر معنی‌دار آهنگ خشک شدن در بین تیمارهای آزمایش شده است (شکل ۴).

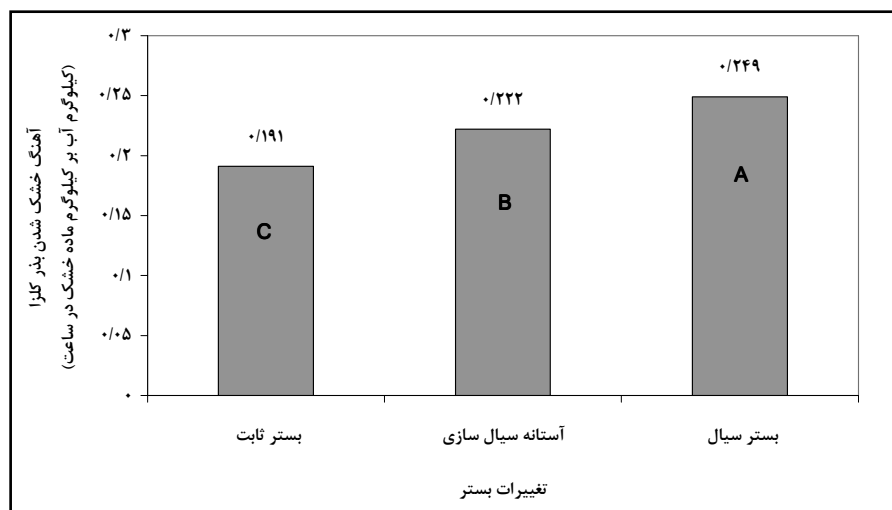


شکل ۴- مقایسه تأثیر دما بر آهنگ خشک شدن کلزا

بر اساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف مختلف اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند.

تغییرات بستر از ثابت به سیال نیز در تمامی دماها موجب بالا رفتن مکش سطحی و سرعت انتقال رطوبت از لایه‌های داخلی دانه به سطح و خروج آن می‌شود. همچنین، با سیال‌سازی بستر دانه‌ها، توزیع و انتقال حرارت از هوا به سطح دانه بیشتر می‌شود که این مسئله به افزایش معنی‌دار آهنگ خشک شدن کلزا می‌انجامد.

داده‌های تحقیق نشان می‌دهد که بر اثر سیال‌سازی، آهنگ خشک شدن بذر ۳۰/۴ درصد (شکل ۵). نسبت به حالت بستر ثابت افزایش می‌یابد



شکل ۵-مقایسه تأثیر تغییرات وضعیت بستر بر آهنگ خشک شدن کلزا براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف مختلف اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند.

است (Gazor & Minaei, 2005; Canovas & Mercado 1996). همان‌گونه که در جدول ۳ مشخص است در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و بعد از آن، تغییرات بستر از آستانه سیال‌سازی به سیال، به رغم افزایش آهنگ خشک شدن کلزا، معنی‌دار نیست. به نظر می‌رسد این مسئله ناشی از تلفیق تأثیر افزایش دما و تهویه مناسب بین دانه‌های کلزا باشد. در واقع، با خشک شدن بذر کلزا با روش سیال سازی نتیجه‌گیری می‌شود که در محدوده دمای تحقیق شده، افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سلسیوس موجب کاهش ۶۶/۷ درصدی زمان خشک شدن و افزایش ۷۰ درصدی آهنگ خشک شدن در ۳۰ دقیقه اول فرآیند شده است. علاوه بر آن، سیال‌سازی بذر ۲۳/۴۷ درصد زمان خشک شدن را نسبت به بستر ثابت کاهش می‌دهد.

نتایج به دست آمده از فرآیند خشک کردن نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات رطوبت دانه‌ها در ۳۰ دقیقه اول فرآیند اتفاق افتاده است، تأثیر تغییرات دما و بستر محصول بر آهنگ خشک شدن کلزا در اغلب موارد معنی‌دار است (جدول ۳). برای هر سه حالت بستر ثابت، آستانه سیال‌سازی، و بستر سیال تأثیر، تغییرات دما از ۳۰ به ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس موجب افزایش معنی‌دار آهنگ خشک شدن می‌شود. تأثیر افزایش آهنگ خشک شدن بعد از ۵۰ درجه سلسیوس با محدودیت مواجه است و به رغم افزایش آهنگ خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، تغییرات ایجاد شده نسبت به دمای ۵۰ درجه سلسیوس معنی‌دار نیست. دلیل بروز این پدیده، محدودیت سرعت نفوذ رطوبت در داخل ماده یا محصول



تأثیر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن...

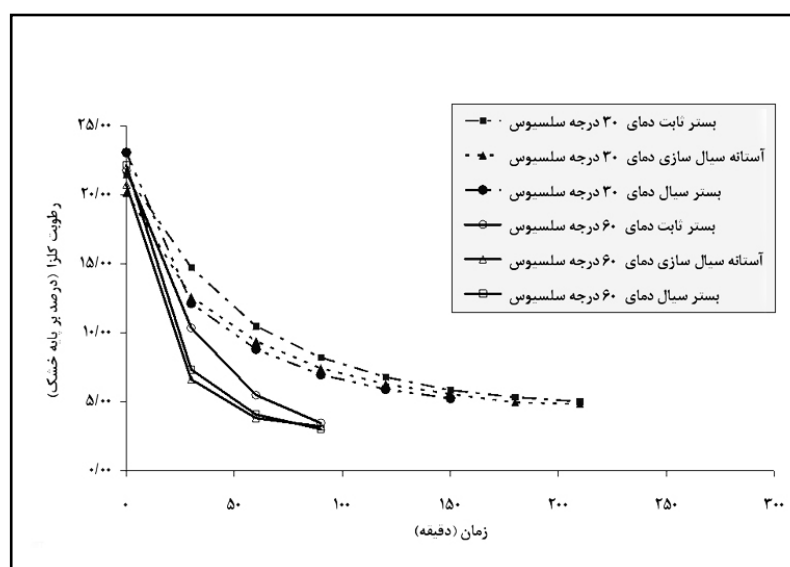
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های آهنگ خشک شدن کلزا در ۳۰ دقیقه اول فرآیند (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک در ساعت)

دما (درجه سلسیوس)				وضعیت بستر
۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	
۰/۲۲۹ <sup>b</sup> ± ۰/۰۱۸	۰/۲۱۵ <sup>bc</sup> ± ۰/۰۲۱	۰/۱۸۶ <sup>d</sup> ± ۰/۰۱۷	۰/۱۳۵ <sup>e</sup> ± ۰/۰۲۳	بستر ثابت
۰/۲۷۶ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲۵	۰/۲۶۳ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲۳	۰/۲۰۷ <sup>bcd</sup> ± ۰/۰۲۲	۰/۱۴۱ <sup>e</sup> ± ۰/۰۱۵	آستانه سیال‌سازی
۰/۲۹۶ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲۴	۰/۲۷۴ <sup>a</sup> ± ۰/۰۱۴	۰/۲۳۱ <sup>b</sup> ± ۰/۰۲۴	۰/۱۹۴ <sup>cd</sup> ± ۰/۰۳۱	بستر سیال

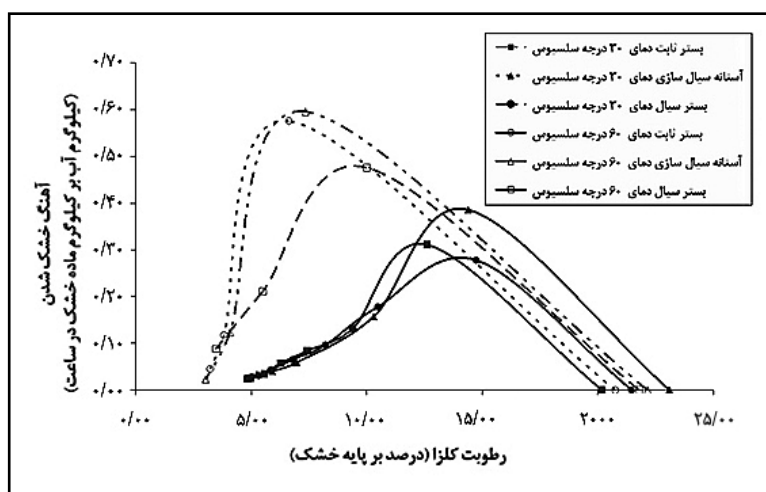
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند.

شده است. همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است، در هر دو دمای سیال‌سازی بستر دانه‌ها موجب تهویه بهتر دانه‌ها می‌شود و اختلاف پدید آمده بین حالت بستر ثابت و بسترهای سیال و آستانه سیال‌سازی بیشتر است. این اختلاف در تغییرات آهنگ خشک شدن دانه‌ها نیز کاملاً مشهود است و پس از خشک شدن لایه‌های سطحی دانه، شیب تغییرات رطوبت دانه‌ها در بسترهای سیال و آستانه سیال‌سازی، بیشتر است (Gazor & Mohsenimanesh, 2010).

با توجه به تحلیل نتایج به دست آمده می‌توان گفت، هنگامی که کاربرد دماهای بالا برای کیفیت محصول نیز محدود است، قرار دادن بذر در آستانه سیال‌سازی می‌تواند بذر را در حاشیه امنیت بهتر با حداقل دمای مورد استفاده و صرف انرژی کمتر در زمانی کوتاه خشک کرد. به منظور ارزیابی بهتر تأثیر تغییرات دما و سیال‌سازی در فرآیند خشک کردن بذر کلزا، نمونه‌هایی از مقایسه تغییرات رطوبت و آهنگ خشک شدن کلزا در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سلسیوس در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه



شکل ۶- روند تغییرات رطوبت بذر کلزا بر اثر تغییرات دما و بستر محصول در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سلسیوس



شکل ۷- روند تغییرات آهنگ خشک شدن بذر کلزا بر اثر تغییرات دما و بستر محصول در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سلسیوس

درجه سلسیوس و روش ثابت با میانگین ۲۶/۲۵ درصد، به ترتیب بیشترین و کمترین درصد سبز شدن را دارند (جدول ۶). درصد سبز شدن با سطح برگ گیاهچه و وزن خشک گیاهچه، همبستگی معنی دار در سطح یک درصد دارد (جدول ۷).

#### سطح برگ گیاهچه

اثر دما، تغییرات بستر، و اثر متقابل دما و تغییرات بستر بر سطح برگ گیاهچه در سطح یک درصد معنی دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که دماهای مورد آزمون از لحاظ صفت مذکور در گروه‌های متفاوت آماری قرار دارند، به طوری که دمای ۴۰ درجه سلسیوس با میانگین ۸/۵۴ سانتی‌متر مربع، بیشترین و دمای ۶۰ درجه سلسیوس با میانگین ۵/۲۷ سانتی‌متر مربع، کمترین سطح برگ گیاهچه را دارند. وضعیت‌های مختلف بستر نیز از نظر این صفت در دو گروه آماری واقع‌اند و روش آستانه سیال‌سازی با میانگین ۷/۵۵ و روش ثابت با میانگین ۶/۶۵ سانتی‌متر مربع، به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین سطح برگ گیاهچه را دارند (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل دما و وضعیت بستر نشان

#### شاخص‌های زراعی بذرهای خشک شده

##### درصد سبز شدن

بررسی‌ها در سطح مزرعه نشان می‌دهد که اثر دما و اثر متقابل دما و وضعیت بستر بر درصد سبز شدن، در سطح یک درصد معنی دار است (جدول ۴). علاوه بر آن، مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نیز نشان می‌دهد که دماهای مورد آزمون از لحاظ صفت مذکور در گروه‌های متفاوت آماری قرار دارند، به طوری که دمای ۳۰ درجه سلسیوس با میانگین ۶۴/۷۲ درصد، بیشترین و دمای ۶۰ درجه سلسیوس با میانگین ۲۹/۵۸ درصد، کمترین درصد سبز شدن را به خود اختصاص داده‌اند. وضعیت‌های مختلف بستر از نظر این صفت در یک گروه آماری واقع شدند، هرچند روش سیال‌سازی دانه با میانگین ۴۹/۳۸ درصد، بالاترین و روش ثابت با میانگین ۴۳/۸۶ درصد، پایین‌ترین درصد سبز شدن را داشتند. مقایسه میانگین اثر متقابل دما و وضعیت بستر از لحاظ صفت مذکور نشان می‌دهد که دماهای مورد آزمون در سطوح مختلف وضعیت بستر در گروه‌های آماری قرار دارند. به طور کلی در میان تیمارهای آزمایشی، دمای ۳۰ درجه سلسیوس و روش آستانه سیال‌سازی با میانگین ۷۲/۵، و دمای ۶۰

تأثیر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن...

بیشترین سطح برگ گیاهچه را نشان می‌دهد (جدول ۶). سطح برگ گیاهچه با وزن خشک گیاهچه، همبستگی مثبت معنی‌دار نشان دارد (جدول ۷).

### وزن خشک گیاهچه

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که اثر دما و وضعیت بستر و اثر متقابل دما و وضعیت بستر بر وزن خشک گیاهچه در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴).

می‌هد که دماهای مورد آزمون در سطوح مختلف تغییرات بستر از لحاظ صفت مذکور در گروه‌های مختلف آماری قرار دارند.

به‌طور کلی، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و روش آستانه سیال‌سازی با میانگین ۹/۳۴ و دمای ۶۰ درجه سلسیوس و روش ثابت با میانگین ۴/۷۶ سانتی‌متر مربع، به‌ترتیب بیشترین و کمترین سطح برگ گیاهچه را دارند. در دماهای ۳۰، ۴۰، و ۶۰ درجه سلسیوس، روش آستانه سیال‌سازی و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، روش سیال،

جدول ۴- تجزیه واریانس شاخص‌های زراعی بذرهاى خشک شده کلزا

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک گیاهچه	سطح برگ گیاهچه	درصد سبز شدن	درصد جوانه‌زنی نهایی بذر (قوة نامیه)*		
۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۸۲۶ <sup>ns</sup>	۱۱/۱۱۱ <sup>ns</sup>	-	۲	تکرار
۰/۵۴۸ <sup>**</sup>	۱۶/۵۶۴ <sup>**</sup>	۱۵۵۴/۹۰۵ <sup>**</sup>	۱۳۴۵/۰۸۰ <sup>**</sup>	۳	دما
۰/۱۷۷ <sup>**</sup>	۲/۴۷۹ <sup>**</sup>	۱۰۹/۶۷۹ <sup>ns</sup>	۶۳/۴۶۵ <sup>ns</sup>	۲	وضعیت بستر
۰/۱۵۴ <sup>**</sup>	۴/۵۶۶ <sup>**</sup>	۳۰۳/۰۸۲ <sup>**</sup>	۳۴۹/۷۷۳ <sup>**</sup>	۶	وضعیت بستر* دما
۰/۰۰۸	۰/۳۱۲	۵۷/۵۶۰	۴۳/۴۶۵	۲۲	خطا
-	-	-	-	۳۵	کل
۶/۳۵	۷/۸۳	۲۰/۳۳	۹/۴۴	—	ضریب تغییرات (درصد)

ns: غیر معنی‌دار، \*\*: معنی‌دار در سطح یک درصد

\* داده‌های درصد جوانه‌زنی نهایی بذر(قوة نامیه) در آزمایشگاه تعیین و با استفاده از طرح پایه کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شده‌اند.

نشان می‌دهد که دماهای مورد آزمون در سطوح مختلف وضعیت بستر از نظر این صفت در گروه‌های متفاوت آماری واقع شدند. به‌طور کلی دمای ۴۰ درجه سلسیوس و روش آستانه سیال‌سازی با میانگین ۱/۸۷ و دمای ۶۰ درجه سلسیوس و روش ثابت با میانگین ۱/۰۷ گرم، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک گیاهچه را دارند. در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، روش آستانه سیال‌سازی و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، روش سیال، بیشترین وزن خشک گیاهچه را دارند (جدول ۶).

مقایسه میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که دمای ۳۰ درجه سلسیوس با میانگین ۱/۷۲ و دمای ۶۰ درجه سلسیوس با میانگین ۱/۱۲ گرم، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک گیاهچه را دارند. وضعیت‌های مختلف بستر از لحاظ صفت مذکور در دو گروه آماری قرار می‌گیرند، به‌طوری که روش آستانه سیال‌سازی با میانگین ۱/۵۲ و روش ثابت با میانگین ۱/۳ گرم، به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین وزن خشک گیاهچه را دارند (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل دما و تغییرات بستر نیز

جدول ۵-مقایسه میانگین شاخص‌های زراعی بذرهای خشک شده کلزا

میانگین				تیمار
وزن خشک گیاهچه (گرم)	سطح برگ گیاهچه (سانتی متر مربع)	سبز شدن (درصد)	قوه نامیه یا جوانه‌زنی نهایی بذر (درصد)	
دما (درجه سلسیوس)				
۱/۷۲±۰/۲۹ a	۸/۴۷±۰/۹۷ a	۶۴/۷۲±۱۳/۵۸ a	۹۳/۶۹±۷/۶۵ a	۳۰
۱/۶۰±۰/۲۶ b	۸/۵۴±۱/۴۶ a	۵۲/۹۲±۱۱/۲۲ b	۹۱/۰۸±۱۲/۲۵ a	۴۰
۱/۳۲±۰/۱۷ c	۶/۲۶±۱/۳۰ b	۴۲/۰۸±۸/۱۱ c	۷۵/۶۷±۵/۲۹ b	۵۰
۱/۱۲±۰/۰۶ d	۵/۲۷±۰/۶۱ c	۲۹/۵۸±۶/۳۱ d	۶۲/۲۵±۷/۱۹ c	۶۰
تغییرات بستر				
۱/۳۰±۰/۲۶ b	۶/۶۵±۱/۵۸ b	۴۳/۸۶±۱۴/۳۸ a	۷۶/۷۷±۱۵/۶۴ b	ثابت
۱/۵۲±۰/۳۵ a	۷/۵۵±۱/۷۵ a	۴۸/۷۵±۱۷/۱۷ a	۸۱/۷۵±۱۴/۱۱ a	آستانه سیال‌سازی
۱/۵۰±۰/۲۴ a	۷/۲۲±۱/۵۰ a	۴۹/۳۸±۱۴/۳۲ a	۸۳/۵۰±۱۲/۷۱ a	سیال

اعداد هر ستون با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد هستند.

جدول ۶-مقایسه میانگین اثر متقابل دما و تغییرات بستر بر شاخص‌های زراعی بذرهای خشک شده کلزا

میانگین				دما (درجه سلسیوس)
وزن خشک گیاهچه (گرم)	سطح برگ گیاهچه (سانتی متر مربع)	سبز شدن (درصد)	قوه نامیه یا جوانه‌زنی نهایی بذر (درصد)	تغییرات بستر
۱/۶۹±۰/۱۵ bc	۸/۳۷±۱/۱۰ abc	۵۹/۱۷±۷/۵۰ ab	۷۷/۵۱ ±۸/۰۰ abcd	ثابت
۱/۸۳±۰/۱۰ ab	۹/۰۴±۰/۲۲ a	۷۲/۵۰±۱۲/۵۰ a	۸۸/۲۶ ±۱/۷۵ a	آستانه سیال‌سازی
۱/۶۳±۰/۱۷ c	۸/۰۱±۰/۸۶ bc	۶۲/۵۰±۱۵/۰۰ ab	۸۰/۰۰ ±۸/۵۰ abc	سیال
۱/۲۳±۰/۰۵ d	۷/۵۵±۰/۲۱ cd	۵۲/۵۰±۵/۰۰ bc	۶۰/۲۶ ±۳/۲۵ abc	ثابت
۱/۸۷±۰/۰۱ a	۹/۳۴±۰/۰۲ a	۵۰/۰۱±۲/۵۰ bcd	۵۷/۴۲±۱/۷۵ cde	آستانه سیال‌سازی
۱/۶۹±۰/۰۱ bc	۸/۷۴±۰/۰۲ ab	۵۶/۲۵±۱/۲۵ b	۸۲/۵۱ ±۱/۰۰ ab	سیال
۱/۲۲±۰/۱۴ d	۵/۹۰±۰/۷۰ ef	۳۷/۵۰±۸/۰۴ de	۸۲/۸۴ ±۵/۵۱ ab	ثابت
۱/۲۱±۰/۱۰ d	۶/۰۳±۰/۶۲ ef	۴۰/۰۳±۱۰/۰۰ cde	۸۳/۲۶±۲/۲۵ ab	آستانه سیال‌سازی
۱/۵۴±۰/۰۳ c	۶/۸۴±۱/۰۵ de	۴۸/۷۵±۱/۲۵ bcd	۶۴/۴۲±۲/۷۵ bcde	سیال
۱/۰۷±۰/۰۰ d	۴/۷۶±۰/۰۱ g	۲۶/۲۵±۱/۲۵ e	۵۱/۰۰±۱/۰۰ e	ثابت
۱/۱۶±۰/۰۱ d	۵/۷۷±۰/۰۳ f	۳۰ e/۰۴±۱/۰۰	۶۱/۱۱±۰/۵۰ cde	آستانه سیال‌سازی
۱/۱۳±۰/۰۴ d	۵/۲۷±۰/۵۰ fg	۳۲/۵۱±۲/۵۰ e	۵۰/۱۷±۵/۰۰ e	سیال

اعداد هر ستون با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد هستند.

تأثیر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن...

جدول ۷- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد آزمون

صفات	درصد جوانه زدن نهایی بذر (قوه نامیه)	درصد سبز شدن	سطح برگ گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
درصد جوانه زدن نهایی بذر (قوه نامیه)	۱/۰۰۰	۰/۹۵۱**	۰/۹۷۱**	۰/۹۰۷**
درصد سبز شدن		۱/۰۰۰	۰/۸۹۳**	۰/۸۴۴**
سطح برگ گیاهچه			۱/۰۰۰	۰/۹۳۷**
وزن خشک گیاهچه				۱/۰۰۰

\*\* : معنی‌دار در سطح یک درصد

### نتیجه‌گیری

آستانه سیال‌سازی می‌توان بذر را در حاشیه امنیت بهتر با حداقل دمای مورد استفاده و صرف انرژی کمتر در زمانی کوتاه خشک کرد. بررسی اثر سیال‌سازی دانه در فرآیند خشک کردن بر جوانه‌زنی و سبز شدن بذر کلزا نشان می‌دهد که می‌توان دانه‌های دارای رطوبت بالا را در محدوده دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس با روش‌های ثابت و آستانه سیال‌سازی خشک کرد تا قوه نامیه و توان رویش بذر در حد قابل قبولی حفظ شود. بدین ترتیب به‌هنگام کاربرد خشک‌کن‌های بستر سیال برای خشک کردن بذر کلزا، توصیه می‌شود که دمای حداکثر ۴۰ درجه سلسیوس به‌حالت آستانه سیال‌سازی به‌کار گرفته شود.

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد، در فرآیند خشک کردن بذر کلزا با قرار دادن محصول در آستانه سیال‌سازی و بعد از آن در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی تهویه مناسب نقش مؤثری دارد و سیال‌سازی بذر زمان خشک شدن را نسبت به بستر ثابت بیش از ۲۳ درصد کاهش می‌دهد. همچنین تغییر بستر از آستانه سیال‌سازی به سیال حدود ۸ درصد به زمان خشک شدن محصول می‌افزاید که کاربرد آن را توجیه‌پذیر می‌کند. از این رو، هنگامی که کاربرد دماهای بالا برای حفظ کیفیت بذر محدود باشد، با قرار دادن محصول در

### مراجع

- Anon. 2001. Heated air grain drying. Available at: <http://www.Canola-council.org/production/stdrying.html>.
- Anon. 2006. Statistical report of cultivation year 2004 - 2005. Ministry of Jihade-Agriculture. Iran. Vol. 1, 271 pp. (in Farsi)
- Anon. 2008. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). Seed Science and Technology. Vol. 27, 333pp. Supplement.
- Amiri Chayjan, R., Khoshtaghaza, M.H. and Kianmehr, M.H. 2004 Design principles of experimental fluidized bed dryer for some agricultural products. J. Agric. Eng. Res. 5 (20): 35-52. (in Farsi)
- Attari, A.A., Shirani Rad, A.H., Alizadeh, B. and Shariati, F. 2005. Annually researching report of oil seed department of seed and plant institute, Ministry of Jihade-Agriculture. Iran. (in Farsi)

- Bassiri, A. 1995. Statistical Designs in Agricultural Sciences. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. (in Farsi)
- Bauman, I., Bobic, Z., Dakovic, Z. and Ukrainczyk, M. 2005. Time and speed of fruit drying on batch fluid beds. *Sadhana, Academy Proceeding in Engineering Sciences*. 30, 5: 687-698.
- Board, N. 2000. The Complete Technology Book on Processing, Dehydration, Canning, Preservation of Fruits and Vegetables. NIIR publication division, India.
- Canovas, V.G. and Mercado, H.V. 1996. Dehydration of Food. Chapman & Hall Pub. New York, U.S.A.
- Chun, M.S., Ying, Z.H. and Hui, K.X. 2003. Effect of dry-heat treatment at 76°C in different time and moisture content on seeds vigor of Xin-Li- Mei Radish. *Seed Sci. Technol.* 31(1): 193-197.
- Diamattia, D.G., Amyotte, P.R. and Hamdullahpur, F. 1996. Fluidized bed drying of large particles. *Trans. ASAE*. 39(5): 1745-1750.
- Falade, K.O. and Abbo, E. 2007. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. *J. Food Eng.* 79(2): 724-730.
- Fellows P.J. 1990. Food Processing Technology, Principal and Paractis. ELLIS Horwood publ. New York.
- Gazor, H.R. and Hosseinkhah, R. 2009. Influence of fluidization and canola drying time and oil quality parameters. *Iranian J. Biosyst. Eng.* 39(1): 121-131. (in Farsi)
- Gazor, H.R. and Minaei, S. 2005. Influence of temperature and air velocity on drying time and quality parameters of Pistachio (*Pistacia vera L.*) *Drying Technology*. 23: 2463-2475.
- Gazor, H.R. and Mohsenimanesh, A. 2010. Modeling drying kinetics of canola in fluidised bed dryer. *Czech J. Food Sci.* 28(6): 531-537.
- Ghaly, T.F. and Sutherland, J.W. 1984. Heat damage to grain and seeds. *J. Agr. Eng. Res.* 30(4): 337-345.
- Hamidi, A. 2004. Influence of harvesting time drying temperature and duration on seed viability vigour and some other related traits of two oilseed rapeseeds (*Brassica napus L.*) cultivars. *Seed Plant Prod. J.* 20(4): 511-527. (in Farsi)
- Hosseinkhah, R. and Famil Momen, R. 2004. Study and determination of drying method for rapeseed. Agricultural Engineering Research Institute. Research Final Report. No. 83/1155. Karaj, Iran. (In Farsi)
- Kreyger, J. 1960. Drying of seeds. *Proceedings of International Seed Testing Association (ISTA)*. 25(1): 590-601.
- Loof, B. 1972. Cultivation of rapeseed. In: Appelqvist, L.A. and Ohlson, R. (Eds.) *Rapeseed: Cultivation, Composition, Processing and Utilization*. Elsevier, Amesterdam, pp. 49.
- Mazza, G. 1984. Sorption isotherms and drying rates of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *J. Food Sci.* 49, 384-388.
- McDonald, M.B. and Copeland, L. 1997. *Seed Production, Principles and Practices*. Chapman and Hall. New York. USA.

- McEwen, E. and O'Callaghan J. R. 1955. The effect of air humidity on through drying of wheat grain. Transactions of the Institute of Chemical Engineers (TICE). 33, 135-154.
- Pagano, A.M., Rovhein, C.A. and Crozza, D.E. 1999. Drying in bin of rapeseed with near ambient air. Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Rapeseed Congress, Canberra, Australia.
- Srinivasakannan, C. 2008. Modeling drying kinetics of mustard in fluidized bed. Int. J. Food Eng. 4(3):1-14.
- Sutherland, J.W. and Ghaly, T.F. 1982. Heated air drying of oil seeds. J. stored Prod. Res. 18(2): 43-54.
- Ward, J.T., Basford, W.D., Hawkins, J.H. and Holliday, J.M. 1985. Oilseed Rape. Farming press Ltd. Norwich. UK.



## **Influence of Kernel Fluidization on the Drying and Cultivation Properties of Canola Seeds**

**H. Gazor<sup>\*</sup> and A. H. Shirani Rad**

\* Corresponding Author: Assistance professor of Agricultural Engineering Research Institute, Email: hgazor@yahoo.com  
Received: 5 October 2010, Accepted: 28 September 2011

Several methods are used to decrease seed drying time and enhance the quality of dried seeds. In fluidization methods, good aeration occurs during the drying process. In this research, conditioned seeds with 20% d.b. moisture content were dried at 30°, 40°, 50° and 60°C using three bed conditions (fixed, minimum fluidized, fluidized). All experiments were done using a batch-type fluidized bed dryer and three replications. Temperature and bed changes in the dryer on canola seed drying kinetics were investigated. The cultivating properties of dried seeds, such as final germination percentage, emergence percentage, seedling leaf area index and seedling dry mass percentage were compared with naturally dried seeds as a control. Experimental results showed that temperature and seed bed changes had significant influences on the canola seed drying process. Suitable aeration was observed during and after minimum fluidized bed drying, which may save energy during the drying process. The fluidized seed bed decreased drying time more than 23% over the fixed bed. The fluidized resulted in about an 8% increase in drying time over the semi-fluidized seed bed. When the use of high temperature is limited for drying, fluidization at moderate temperatures can a suitable alternative for drying heat-sensitive materials. Drying at 30° and 40°C using semi-fluidized beds is a good choice for drying canola seeds. It did not have harmful effects on the canola seed cultivation properties and kept them within standard limits.

**Keywords:** Canola, drying, fluidized bed, germination, seed